

(translation of the front page of the priority document of  
Japanese Patent Application No. 2000-162066)



PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the  
following application as filed with this Office.

Date of Application: May 31, 2000

Application Number : Patent Application 2000-162066

Applicant(s) : Canon Kabushiki Kaisha

May 30, 2001

Commissioner,  
Patent Office

Kouzo OIKAWA

Certification Number 2001-3046993

日本国特許庁 09/845,297

JAPAN PATENT OFFICE

Akihiro Nakaguchi

May 1, 2001

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 5月31日

出願番号

Application Number:

特願2000-162066

出願人

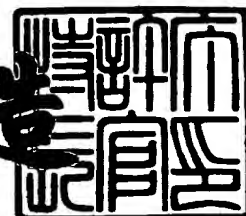
Applicant(s):

キヤノン株式会社

2001年 5月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3046993

【書類名】 特許願

【整理番号】 4133041

【提出日】 平成12年 5月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/30

【発明の名称】 投影露光方法及び装置

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 中内 章博

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社  
社内

【氏名】 佐藤 隆一

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

【識別番号】 100086818

【弁理士】

【氏名又は名称】 高梨 幸雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009623

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

特 2 0 0 0 - 1 6 2 0 6 6

【物件名】            要約書    1

【包括委任状番号】    9703877

【プルーフの要否】    要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影露光方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能を測定する投影露光方法であって、

前記レチクルやフォトマスクなどの被転写材若しくは別に設けた被転写材に第 1 の観測パターンを設け、

この第 1 の観測パターンを補助照明系で照明し、

前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に第 2 の観測パターンを配置し、

前記第 2 の観測パターンを前記投影光学系の光軸と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査し、

前記第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布により前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像特性を測定することを特徴とする投影露光方法。

【請求項 2】

レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能も測定する投影露光方法であって、

前記投影光学系の結像面近傍に第 1 の観測パターンを配置し、

この第 1 の観測パターンを補助照明系で照明し、

前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に第 2 の観測パターンを配置し、

前記第 2 の観測パターンを前記投影光学系の光軸と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査し、

前記第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布より前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像特性を測定することを特徴とする投影露光方法。

【請求項 3】

レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能を測定する露光装置であって、

前記レチクルやフォトマスクなどの被転写材若しくは別に設けた被転写材に有する第 1 の観測パターンと、

この第 1 の観測パターンを照明する補助照明系と、

前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に配置した第 2 の観測パターンと、

この第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布を観察する光強度分布測定装置とを備え、

前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像性能を測定するように構成したことを特徴とする投影露光装置

。

【請求項 4】

レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能を測定する投影露光方法であって、

前記投影光学系の結像面近傍に配置した第 1 の観測パターンと、

この第 1 の観測パターンを照明する補助照明系と、

前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に配置した第 2 の観測パターンと、

この第 2 の観測パターンを前記投影光学系の光軸と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査する走査手段と、

前記第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布を測定する光強度測定装置とを備え、

前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像性能を測定するように構成したことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 5】

前記投影光学系を透過後の光束を、第 1 の観測パターンの結像位置近傍で折り返す反射手段を備えたことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の投影露光装置。

【請求項 6】

前記第 1 の観測パターンの結像位置近傍で光束を折り返す反射手段が、第 1 の観測パターンの結像位置近傍に曲率中心がくるように配置した球面鏡であることを特徴とする請求項 5 に記載の投影露光装置。

【請求項 7】

前記第 1 の観測パターンの結像位置近傍で光束を折り返す反射手段が、球面鏡であって、その曲率中心は第 1 の観測パターンの結像位置近傍にあり、かつ、反射光束が再び前記投影光学系を通過して結像する位置が第 1 の観測パターンに対して光軸から垂直方向にずれるように配置されていることを特徴とする請求項 5 に記載の投影露光装置。

【請求項 8】

前記第 1 の観測パターンと前記投影露光装置側の間に半透性の反射鏡を配置し

前記球面鏡で反射され再び前記投影光学系を通過した光束が、この半透性の反射鏡で反射された光束によるものであることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、投影光学系を介してマスク上のパターンを感光性の基板に転写する投影露光方法及び装置に係り、特に導体素子を製造する際のリソグラフィ工程

等で使用される投影露光方法及び装置に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

例えば、半導体素子等の製造工程のひとつであるフォトリソグラフィ工程では、レチクルやフォトマスク等（以下、レチクルと総称する）に形成された回路パターン等を感光剤が塗布された半導体ウェハー等に転写するようになっているが、この回路パターンの転写手段として、投影光学系を含む投影型の露光装置（以下、投影露光装置とよぶ）が各種開発され使用されている。

【 0 0 0 3 】

例えば、この種の投影露光装置では、レチクル上のパターンを所定の倍率（縮小率）で正確にウェハー上に縮小転写することが要求されており、この要求に応えるためには、結像性能のよい、収差を抑えた投影光学系を用いることが重要となっている。特に近年、半導体素子の一層の微細化要求により、このような投影光学系では、通常の結像性能を超えた微細パターンで転写させるといった場合が多くなってきている。

【 0 0 0 4 】

このような事情から、転写するパターンは、投影光学系の収差の影響をより敏感に、より強く受けるようになってきている。一方、投影光学系には、露光面積の拡大化、高NA（開口数）化が求められており、これらが収差の補正をより困難なものにしている。

【 0 0 0 5 】

このような状況において、露光装置に投影光学系を搭載した状態、つまり投影露光装置として実際に露光に使用する状態で、投影光学系の収差、中でも特に波面収差を計測したいという要求が強く起こっている。即ち、これは、実際の使用状態に則した、より精密なレンズの調整や、収差の影響を受けにくい半導体素子の設計等が可能となるからである。

【 0 0 0 6 】

そこで、このような要求に応え、例えば、投影光学系を露光装置に搭載した状態で結像性能を確認する方法として、①投影像の強度分布をナイフエッジやスリ



ットなどで測定する方法が知られている。②また、バーチャートなど特定の形状をしたパターンのコントラストを求める方法なども知られている。

【 0 0 0 7 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、これらの方法では、波面収差を求めることまでは行われていなかった。しかも、半導体素子製造のリソグラフィーに使用する投影光学系を用いて、上述した①のナイフエッジやスリットなどにより、投影像の強度分布も同時に求める方法で波面収差を求めるためには、光強度分布測定の際のS/N比が $10^6$ 程度以上は必要とされ、実際に波面収差を求めるのは非常に困難である。また、②のバーチャートを用いてコントラストを求める方法で波面収差を求めるには、粗いピッチから解像限界を超えるピッチまで、非常に多数のバーチャートのコントラストを求める必要があり、バーチャートの製作上、そして測定労力の点から実用的ではない。

【 0 0 0 8 】

また、波面収差を求める方法の一つとして干渉計を用いる方法も知られているが、これは投影光学系の製造段階での検査装置として用いられるのが一般的であり、露光装置に搭載するには、技術的にもコスト的にも困難で、実用には至っていない。しかも、この干渉計による方法では、プリズム、ミラー、レンズなどからなる干渉計と、干渉計用のコヒーレンスの良い照明系とを、レチクルステージやウェハーステージの近傍に配置する必要がある。

【 0 0 0 9 】

ところが、一般に、ウェハーステージやレチクルステージ近傍の空間は大きさに限界があり、実装するとなると干渉計やその照明系の大きさにも制約を受けることになる。また、発熱や振動などの面からも制約があり、干渉計を実装するのが非常に困難になっている。さらに、近年、このような露光装置に使用する光の短波長化に伴ない、このような露光波長領域において（干渉計のための）コヒーレンスのよい光を供給する光源は、存在しないか、非常に高額である。このため干渉計方式の収差測定装置を投影露光装置に搭載することは技術的にも、コスト的にも現実的なものではない。

【 0 0 1 0 】

そこで、本発明は、前述の課題に鑑み、投影露光装置上で投影光学系の結像性能、特に波面収差を計測する機能を備えた投影露光方法及び装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決をするための手段】

前記課題を解決するために、請求項 1 に係る本発明においては、レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能を測定する投影露光方法であって、

前記レチクルやフォトマスクなどの被転写材若しくは別に設けた被転写材に第 1 の観測パターンを設け、

この第 1 の観測パターンを補助照明系で照明し、

前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に第 2 の観測パターンを配置し、

前記第 2 の観測パターンを前記投影光学系の光軸と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査し、

前記第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布により前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像特性を測定することを特徴としている。

【 0 0 1 2 】

また、請求項 2 に係る発明は、レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能も測定する投影露光方法であって、

前記投影光学系の結像面近傍に第 1 の観測パターンを配置し、

この第 1 の観測パターンを補助照明系で照明し、

前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に第 2 の観測パターンを配置し、

前記第 2 の観測パターンを前記投影光学系の光軸と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査し、

前記第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布より前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像特性を測定することを特徴としている。

【 0 0 1 3 】

また、請求項 3 に係る発明は、レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能を測定する露光装置であって、

前記レチクルやフォトマスクなどの被転写材若しくは別に設けた被転写材に有する第 1 の観測パターンと、

この第 1 の観測パターンを照明する補助照明系と、

前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に配置した第 2 の観測パターンと、

この第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布を観察する光強度分布測定装置とを備え、

前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像性能を測定するように構成したことを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

また、請求項 4 に係る発明は、レチクルやフォトマスクなどの被転写材に設けた転写パターンと、この転写パターンを照明する主照明系と、前記転写パターンを投影する投影光学系とを備え、所定位置に配置された基板上に、前記投影光学系により前記転写パターンを投影露光する際に、前記投影光学系の結像性能を測定する投影露光方法であって、

前記投影光学系の結像面近傍に配置した第 1 の観測パターンと、

この第 1 の観測パターンを照明する補助照明系と、  
前記投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に配置した第 2 の観測パターンと、  
この第 2 の観測パターンを前記投影光学系の光軸と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査する走査手段と、  
前記第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布を測定する光強度測定装置とを備え、  
前記第 2 の観測パターンの走査と同期して得られる光強度分布の変化から前記投影光学系の結像性能を測定するように構成したことを特徴としている。

【 0 0 1 5 】

請求項 5 に係る発明は、請求項 3 又は 4 に記載の発明において、前記投影光学系を透過後の光束を、第 1 の観測パターンの結像位置近傍で折り返す反射手段を備えたことを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

請求項 6 に係る発明は、請求項 5 に記載の発明において、前記第 1 の観測パターンの結像位置近傍で光束を折り返す反射手段が、第 1 の観測パターンの結像位置近傍に曲率中心がくるように配置した球面鏡であることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項 7 に係る発明は、請求項 5 に記載の発明において、前記第 1 の観測パターンの結像位置近傍で光束を折り返す反射手段が、球面鏡であって、その曲率中心は第 1 の観測パターンの結像位置近傍にあり、かつ、反射光束が再び前記投影光学系を通過して結像する位置が第 1 の観測パターンに対して光軸から垂直方向にずれるように配置されていることを特徴としている。

【 0 0 1 8 】

請求項 8 に係る発明は、請求項 3 又は 4 に記載の発明において、前記第 1 の観測パターンと前記投影露光装置側の間に半透性の反射鏡を配置し、  
前記球面鏡で反射され再び前記投影光学系を通過した光束が、この半透性の反射鏡で反射された光束によるものであることを特徴としている。

【 0 0 1 9 】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施形態について添付図面を参照しながら説明する。

【0020】

初めに、この発明に係る投影露光方法の原理について、説明する。

【0021】

この発明に係る投影露光方法は、Foucault Test, Wire Test, Phase Modulation Test, Ronchi Test (例えば、Daniel Malacara, "Optical Shop Testing", John Wiley & Sons, Inc. 231 (1978) 参照) などに記載されている原理を基礎として利用している。

【0022】

一般に、収差がない理想的な投影光学系の場合には、点物体から出た光束は、結像点一点に収束するが、収差があると一点には収束しない。

【0023】

例えば、図1は、このような結像点近傍の光束の様子を示したものであり、光線Aが理想的な結像点P<sub>0</sub> (以下、理想結像位置とよぶ) から外れている場合を表わしている。

【0024】

図2は、このような理想結像位置P<sub>0</sub>近傍に、後述する、第2の観測パターン15と、それを通過した光束の光強度分布を測定する光強度分布測定装置16とを配置した図である。ここで、投影光学系の主光線A<sub>0</sub>に垂直な平面Cでの第2の観測パターン15の位置を座標(u, v)で、光強度分布測定装置16の光強度測定面Dでの座標系を(x, y)で設定している。

【0025】

また、光強度分布測定装置16の光強度測定面D上の位置は投影光学系の射出瞳上の位置と1対1の対応がとれる程度に広がりを持っているものとする。これは、例えば、光強度分布測定装置16を、ある程度投影光学系の結像位置から離すこと等によって実現できる。図2では、光線Aが収差のため、理想結像位置P<sub>0</sub>からεだけずれ、第2の観測パターン15の後述する不透過部で遮られていることを示している。

## 【 0 0 2 6 】

この状態では、第 2 の観測パターン 1 5 を通過した光束の光強度測定面 D 上での光強度分布は、光線 A に対応する部分が暗い分布となる。図 3 はこれを示した図である。同図で影の部分が光線 A およびその近傍の光線からなる光束に対応する部分である。なお、この図 3 において、 $I_o(u, v)$  は第 2 の観測パターン 1 5 の位置が  $(u, v)$  の時の主光線 A o に対応する部分の光強度を、 $I_a(u, v)$  は第 2 の観測パターン 1 5 の位置が  $(u, v)$  の時の光線 A に対応する部分の光強度を、それぞれ表わす。

## 【 0 0 2 7 】

いま、ここで、図 3 からわかるように、光線 A の光線収差を  $(\varepsilon, \eta)$  として、第 2 の観測パターン 1 5 を  $(\varepsilon, \eta)$  だけ移動したとすると、光線 A に対応する部分の光強度は、 $I_o(u, v)$  と等しい。即ち、

$$I_a(u, v) = I_o(u - \varepsilon, v - \varepsilon) \quad \dots\dots (1)$$

)

となる。

## 【 0 0 2 8 】

従って、第 2 の観測パターン 1 5 の位置  $(u, v)$  を移動させながら、光強度測定面 D 上の各点における光強度の変化をプロットすると、図 5 に示すように光線収差に相当する量だけ位相のずれたパターンが得られる。

## 【 0 0 2 9 】

その結果、この位相ずれ量を求めることによって、光線収差を決定できるわけである。ここで、第 2 の観測パターン 1 5 としては、図 4 で図示の不透光性の基板（以下、マスクとよぶ）1 5 A に正方形の開口 1 5 B を設けたものを使用している。

## 【 0 0 3 0 】

図 5 (A) は、 $u$  軸に対するプロット図で、 $u$  軸方向の光線収差量  $\varepsilon$  だけプロット図の位相がずれていることを示している。同図 (B) は、 $v$  軸に対するプロット図で、 $v$  軸方向の光線収差量  $\eta$  だけプロット図の位相がずれていることを示している。ここで、光強度分布測定装置 1 6 の光強度測定面 D 上の各点  $(x, y$

）は、投影光学系の射出瞳と 1 対 1 に対応するようになっており、光線収差（ $\varepsilon$ 、 $\eta$ ）は射出瞳上の点（ $x$ 、 $y$ ）を通過した光線の収差とみなすことができる。

#### 【 0 0 3 1 】

以上については、第 1 の観測パターン 1 1 が点物体とみなせる場合について説明してきたが、第 1 の観測パターン 1 1 が、投影光学系のアイソプラナティック領域より小さい物体であれば、点物体とみなせるほど微少なパターンである必要はない。アイソプラナティック領域は収差が等しいとみなせる領域だから、第 1 の観測パターン 1 1 の各点からの同じ収差をもつ結像光束を重ね合わせたものが、第 1 の観測パターン 1 1 の像となる。

#### 【 0 0 3 2 】

従って、これを第 2 の観測パターン 1 5 で走査して得られるプロット図は、前述の第 1 の観測パターン 1 1 が点物体とみなせる場合のプロット図を、第 1 の観測パターン像の大きさの分だけ重ね合わせたパターンとなる。

#### 【 0 0 3 3 】

図 6 は、第 1 の観測パターン 1 1 として、マスク上のアイソプラナティック領域内で、正方形の開口を  $10 \times 10$  のマトリックス状に配置した場合（図 7 参照）の結像点近傍の光束の様子を示したものである。なお、ここで、 $A'$  は光線  $A$  に対応する光束、 $A_o'$  は主光線  $A_o$  に対応する光束である。

#### 【 0 0 3 4 】

アイソプラナティック領域であるから、両光束の断面は同じ大きさの正方形であり、光束  $A'$  は、光線  $A$  の収差（ $\varepsilon$ 、 $\eta$ ）だけ光束  $A_o'$  からずれたものである。ここで、 $I'_{o}(u, v)$  は、第 2 の観測パターン 1 5 の位置が（ $u$ 、 $v$ ）の時の主光線  $A_o$  に対応する部分の光強度、また、 $I'_{a}(u, v)$  は第 2 の観測パターン 1 5 の位置が（ $u$ 、 $v$ ）の時の光線  $A$  に対応する部分の光強度とすると、図 8 からわかるように、

$$I'_{a}(u, v) = I'_{o}(u - \varepsilon, v - \eta) \quad \dots\dots (2)$$

となる。なお、図 8（A）は、 $u$  軸に対するプロット図であり、 $u$  軸方向の光線収差量  $\varepsilon$  だけプロット図の位相がずれていることを示している。同図（B）は、 $v$  軸に対するプロット図であり、 $v$  軸方向の光線収差量  $\eta$  だけプロット図の位相

がずれていることを示している。

【 0 0 3 5 】

従って、第 2 の観測パターン 1 5 の位置 ( u , v ) を移動させながら、光強度測定面の各点における光強度の変化をプロットすると、光線収差に相当する量だけ位相のずれたパターンがえられる。この位相のずれ量を求めることによって、光線収差を決定できるようになる訳である。ここで、第 2 の観測パターン 1 5 としては、図 4 で示す不透過基板に正方形の開口を設けたものと同じものを使用している。

【 0 0 3 6 】

以上のようにして、第 1 の観測パターン 1 1 がアイソプラナティック領域内のパターンであれば、点物体とみなせる場合と同じように、光線収差 (  $\varepsilon$  ,  $\eta$  ) を求めることができる。

【 0 0 3 7 】

さらに、例えば、波面収差  $\phi$  と光線収差 (  $\varepsilon$  ,  $\eta$  ) の関係として、R を結像光束が参照球面と交わる位置と結像面で交わる位置との光路長とすると、次式

$$\varepsilon ( x , y ) = R ' \cdot ( \partial \phi / \partial x ) \quad \cdots \cdots ( 3 )$$

$$\eta ( x , y ) = R ' \cdot ( \partial \phi / \partial y ) \quad \cdots \cdots ( 4 )$$

の関係があることが知られており、この関係から波面収差  $\phi$  を求めることができる。これについての詳細は、Max Born, Emill Wolf 共著による " Principles of Optics 6th Editon " , ChapterV, 1993, Pergamon Press を参照されたい。

【 0 0 3 8 】

以上述べてきた原理によれば、投影露光装置用として実用化されているナイフエッジやスリット、バーチャートなどによる結像性能測定装置と同程度の規模で、波面収差測定装置を構成した投影露光装置の構成が可能となるわけである。

( 1 ) 第 1 の実施形態について

次に、この発明に係る第 1 の実施形態について、図 9 を参照しながら説明する。

【 0 0 3 9 】



図 9 は、第 1 の実施形態に係る投影露光装置 1 を示すものであり、この投影露光装置 1 には、結像性能を測定するための第 1 の観測パターン 1 1 を有するマスク 1 1 A と、補助照明系 1 3 と、投影光学系 1 4 と、第 2 の観測パターン 1 5 を有するマスク 1 5 A と、光強度分布測定装置 1 6 と、ウエハーステージ 1 7 とを備えている。

## 【 0 0 4 0 】

第 1 の観測パターン 1 1 は、マスク 1 1 A に形成されており、投影光学系 1 4 のアイソプラナティツク領域より小さいものとする。半導体露光装置での投影系の場合、目安として画面サイズの数%以内がアイソプラナティツク領域とみなされる。したがって、6 〃マスクを用いる半導体露光装置の場合、第 1 の観測パターンの大きさは、数ミリ以内であることが必要である。なお、図 8 は、この発明の原理を説明する際に前述したように、第 1 の観測パターン 1 1 として、矩形開口を、マスク 1 1 A 上に 1 0 × 1 0 のマトリクス状に配置したものである。このように、第 1 の観測パターン 1 1 を複数個配置し、それぞれの結像位置で結像性能を測定することにより、複数像点での結像性能が計測できる。

## 【 0 0 4 1 】

補助照明系 1 3 は、この実施形態では主照明系を兼ねている。この補助照明系 1 3 から出射する光束は、第 1 の観測パターン 1 1 を通過した光束が投影光学系 1 4 の入射瞳を十分に覆うものであるとする。これは、例えば、補助照明系 1 3 を  $\sigma 1$  の照明系とすることによって実現される。

## 【 0 0 4 2 】

投影光学系 1 4 は、この補助照明系 1 3 から出射され第 1 の観測パターン 1 1 及びマスク 1 1 A を通過した光束を結像させるようになっている。また、この結像光束は、第 1 の観測パターン 1 1 の結像位置近傍に配置された第 2 の観測パターン 1 5 を透過し、光強度分布測定装置 1 6 の測定面に到達し、ここで光強度分布が測定されるようになっている。

## 【 0 0 4 3 】

第 2 の観測パターン 1 5 を設けたマスク 1 5 A と光強度分布検出装置 1 6 とは、ウエハーステージ 1 7 に搭載されており、第 1 の観測パターン 1 1 の結像位置

近傍に位置合わせされている。また、この第2の観測パターン15は、アクチュエータ15Cの制御装置15Dによって光軸Pに垂直な面内で走査されるようになっている。また、光強度分布検出装置16には、光強度分布の信号処理装置16Aが接続されている。

【0044】

ウェハーステージ17には、ウェハーチャック17Aを備えおり、駆動装置17Bで駆動されるようになっている。

【0045】

次に、図10は、第2の観測パターン15と光強度分布測定装置16の部分を拡大した説明図である。

【0046】

第2の観測パターン15と光強度分布測定装置16は、ウェハーステージ17により第2の観測パターン15が第1の観測パターン11の結像位置近傍となるように位置合わせされる。また、光強度分布測定装置16の光強度測定面上の位置は投影光学系14の射出瞳上の位置と1対1の対応がとれる程度に広がりのある位置に配置される。これは、たとえば、光強度分布測定装置16を、ある程度投影光学系14の結像位置から離すことによって実現できる。あるいは、瞳結像光学系を使用することによっても実現できる。

光強度分布測定装置16は、例えば、2次元固体撮像素子を用い各画素を受光単位とすることによって、個々の受光単位が補足する光束の断面積の合計が前記投影光学系14の瞳上において瞳の面積を十分に覆うように構成される。

【0047】

次に、この実施形態に係る投影露光装置1の作用について説明する。

【0048】

第2の観測パターン15は、アクチュエータ15Cにより光軸に垂直な平面を走査する。この時のパターンの位置に対する光強度分布測定装置16の各受光単位の光強度変化を、光強度分布の信号処理装置16Aにより、前述した原理に基づき信号処理をすることにより、光線収差( $\varepsilon(x, y)$ ,  $\eta(x, y)$ )が得られる。ただし、 $(x, y)$ は、光強度分布測定装置16の光強度測定面D上の

位置座標であり、かつ投影光学系 1 4 の射出瞳面の座標でもある。さらに、このようにして得られた光線収差から、前述の関係式、(3)、(4)、即ち

$$\varepsilon(x, y) = R' \cdot (\partial \phi / \partial x) \quad \dots\dots (3)$$

$$\eta(x, y) = R' \cdot (\partial \phi / \partial y) \quad \dots\dots (4)$$

に基づき、信号処理装置 1 6 A により波面収差  $\phi(x, y)$  が求められる。

## (2) 第 2 の実施形態について

次に、この発明の第 2 の実施形態について図 1 1 を参照しながら説明する。

### 【0049】

図 1 1 は、この発明の第 2 の実施形態に係る投影露光装置 2 を示すものであり、この投影露光装置 2 では、結像性能を測定するための第 1 の観測パターン 2 1 を有するマスク 2 1 A と、補助照明系 2 3 と、投影光学系 2 4 と、第 2 の観測パターン 2 5 を有するマスク 2 5 A と、光強度分布測定装置 2 6 と、ウエハステージ 2 7 との他に、折曲手段 2 8 と、反射手段 2 9 とを備えている。

### 【0050】

マスク 2 1 A には、円形開口等の第 1 の観測パターン 2 1 が形成されている。

### 【0051】

補助照明系 2 3 は、ここから出射した光束が円形開口等の第 1 の観測パターン 2 1 が形成されたマスク 2 1 A を通過するように構成されている。また、この補助照明系 2 3 は、ここから出射する光束が  $\sigma 1$  の照明状態等とすることによって、第 1 の観測パターン 2 1 を通過した光束が投影光学系 2 4 の入射瞳を十分に覆うような照明状態となるように構成されている。

### 【0052】

投影光学系 2 4 は、折曲手段 2 8 を透過してきた光束を、後述する反射手段 2 9 の曲率中心位置に結像させるようになっている。

### 【0053】

マスク 2 5 A には、開口スリットの第 2 の観測パターン 2 5 が形成されている。この第 2 の観測パターン 2 5 は、アクチュエータ 2 5 C により、折曲手段 2 8 で偏向された投影光学系 2 4 の光軸 P と垂直な z 方向及び y 方向に沿って移動可能となっている。また、アクチュエータ 2 5 C は、アクチュエータ制御装置 2 5

Dにより制御されており、アクチュエータ25Cの移動量をデータとして信号処理装置26Aに転送するようになっている。

## 【0054】

光強度分布測定装置26は、図12のように、瞳結像光学系26Bと固体撮像素子26Cと備えており、固体撮像素子26Cは瞳結像光学系26Bにより投影光学系24の入射瞳と共役関係となっている。

## 【0055】

折曲手段28は、半透性のもの（ハーフミラー）で構成されている。また、この折曲手段28は、次に説明する反射手段29で折り返され、再び投影光学系24を透過した光束の光路を変えるようになっている。なお、この光束は、この折り曲げられた光路上で第1の観測パターン21の像を結像点に結び、この像の近傍に配置されたマスク25Aの開口スリットなどの第2の観測パターン25を通過するようになっている。また、この第2の観測パターン25通過後の光束は、光強度分布測定装置26の光強度測定面Dに到達し、そこで光強度が測定されるようになっている。

## 【0056】

反射手段29は、第1の観測パターン21の結像光束の結像位置と曲率中心が一致するように配置された球面ミラーで構成されており、ここで折り返された後、再び投影光学系24を透過して第2の観測パターン25近傍で結像される。

## 【0057】

次に、この第2の実施形態に係る投影露光装置の作用について、図12を参照しながら説明する。

## 【0058】

図12は第2の観測パターン25と光強度分布測定装置26とについての部分拡大図である。

## 【0059】

投影光学系24を2度透過した光がパターン21の理想結像点P0を通過するように、第2の観測パターン25をアクチュエータ25Cにより、図12の-z方向から+z方向に走査する。すると、瞳の中心を透過してきた主光線A0は、

開口スリットを有する第 2 の観測パターン 2 5 の上側の端が理想結像位置  $P_0$  を横切ってから、下側の端が理想結像位置  $P_0$  をよこぎる間、開口スリットを通過し、光強度分布測定装置 2 6 でその光強度が観測される。

## 【 0 0 6 0 】

このときの、スリット走査に伴う光強度分布を、横軸にスリット位置、縦軸に光強度をとってグラフにすると、図 1 3 (B) のようになる。スリット位置に対する光強度は、スリット幅  $L$  と第 2 パターン 2 1 の円形開口像の直径  $\rho$  に対応する間だけ光強度を持った形状となる。

## 【 0 0 6 1 】

同様に、図 1 2 において、 $z$  方向に横収差  $\varepsilon$  を持った光線 A について考えると、この光線 A は理想結像面から  $z$  方向に  $\varepsilon$  離れた  $P_1$  の位置を通過するので、光線 A は、開口スリットを有する第 2 の観測パターン 2 5 の上端が  $P_1$  を横切ってから下端が  $P_1$  を横切るまでの間だけ、開口スリットを通過することになる。この時の、スリット位置に対する光強度分布は、図 1 3 (A) のように、主光線  $A_0$  の光強度分布に対して、 $\varepsilon$  だけ光強度形状がシフトしたものとなる。

## 【 0 0 6 2 】

このように、主光線  $A_0$  に対する、光強度形状のずれ量は横収差量に対応するため、光強度分布測定装置 2 6 において、瞳各点に対応する受光単位について、パターン 2 5 の位置に対する光強度変化の様子を求め、主光線  $A_0$  と瞳各点の光強度形状のずれ量を測定することで、瞳全面の  $z$  方向の横収差量が測定可能である。同様にして、パターン 2 5 を  $y$  方向に走査すると、 $y$  方向の横収差  $\eta$  を測定することが可能である。ただし  $y$  方向に走査する場合の開口スリットは、 $y$  方向に十分長いものとする。

## 【 0 0 6 3 】

このようにして得られた  $z$  方向と  $y$  方向の横収差量 ( $\varepsilon$ 、 $\eta$ ) は、レチクル側で測定されており、光束が投影光学系 2 4 を 2 度透過してきているので、投影光学系 2 4 の波面収差  $\phi$  との間について、次式

$$\varepsilon = - (1 / NA_0) \cdot [\partial (2 \phi) / \partial x] \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\eta = - (1 / NA_0) \cdot [\partial (2 \phi) / \partial y] \quad \cdots \cdots (6)$$

の関係が成立する。ここで、 $NA_o$ は、投影光学系24のレチクル側の開口数で、 $x$ 、 $y$ は入射瞳上の座標で、瞳の径で規格化された値である。

【0064】

次に、先の(5)，(6)式を用いて、瞳全面に関して、 $x$ 方向、 $y$ 方向の横収差量( $\varepsilon$ ， $\eta$ )の測定を行うことで、投影光学系24の波面収差 $\phi$ を求めることが可能となる。

【0065】

この第2の実施形態では、測定された横収差量( $\varepsilon$ ， $\eta$ )は、投影光学系24の波面収差 $\phi$ の影響を2倍受け、レチクル側の $NA$ はウエハー側の $NA$ より小さいので、第1の実施形態で測定される横収差よりも大きな値となる。

【0066】

例えば投影光学系24の縮小倍率を5倍とし、瞳上の同一点における、第1の実施形態により測定される横収差量を $\varepsilon'$ 、本実施形態による横収差量を $\varepsilon$ とし、(3)式と(5)式を用いれば、これらの比は、

$$\varepsilon / \varepsilon' = 2 \cdot (NA_i / NA_o) \quad \dots\dots (7)$$

)

$$= 10 \text{ 倍、}$$

となり、この実施形態の方が10倍大きな横収差量を観測することとなり、波面収差 $\phi$ の測定精度が大幅に向上することとなる。ここで、 $NA_i$ は投影光学系24のウエハー側の開口数であり、(7)式の計算においては、

$$(NA_i / NA_o) = 5$$

が投影光学系24の縮小倍率であることを使用した。また、この実施形態では、ウエハー側よりもレチクル側の方が、同一瞳点を通過してきた光束の角度が小さいために、光強度分布測定装置26内の瞳結像光学系26Bの構成が簡単になるという効果も得られる。

(3) 第3の実施形態について

次に、この発明の第3の実施形態について図14及び図15を参照しながら説明する。

【0067】

図 1 4 は、この発明の第 3 の実施形態に係る投影露光装置 3 を示すものであり、この投影露光装置 3 では、第 2 の実施形態のものと同様の、第 1 の観測パターン 3 1 を有するマスク 3 1 A と、補助照明系 3 3 と、投影光学系 3 4 と、第 2 の観測パターン 3 5 を有するマスクと、ウエハーステージ 3 7 と、反射手段 3 9 との他に、光強度分布測定装置 3 6 を備えている。

## 【 0 0 6 8 】

反射手段 3 9 は、第 2 実施形態のものと同様の球面ミラーを使用しているが、この球面ミラーの曲率中心位置を、第 1 の観測パターン 3 1 の結像位置近傍にて、光軸 P とは垂直な方向に偏心させて配置し、ここで反射して再び投影露光系 3 4 を透過してきたパターン 3 1 の像を、パターン 3 1 に対して光軸 P とは垂直方向にずれた位置に結像させる。

## 【 0 0 6 9 】

光強度分布測定装置 3 6 は、図 1 4 の要部拡大図である図 1 5 に示すように、瞳結像光学系 3 6 B と、固体撮像素子 3 6 C との他に、反射鏡 3 6 D を備えており、固体撮像素子 3 6 C は瞳結像光学系 3 6 B により投影光学系 3 4 の入射瞳と共役関係となっている。

## 【 0 0 7 0 】

この実施形態でも、理想結像位置 P o においてスリットを有する第 2 の観測パターン 3 5 を走査し、光強度分布測定装置 3 6 で光強度分布を測定する構成となっているが、本実施例の場合、第 2 の実施形態と比較して、半透性の光軸折り曲げ手段 2 8 がないので、その分、光量損失が少ないという利点がある。

## ( 4 ) 第 4 の実施形態について

次に、この発明の第 4 の実施形態について図 1 6 を参照しながら説明する。

## 【 0 0 7 1 】

図 1 6 に示す第 4 の実施形態では、投影露光装置 4 に、第 2 の実施形態のものと同様に、第 1 の観測パターン 4 1 と、マスク 4 1 A と、補助照明系 4 3 と、投影光学系 4 4 と、走査パターン 4 5 を有するマスク（図略）と、光強度分布測定装置 4 6 と、ウエハーステージ 4 7 と、反射手段 4 9 との他に、引回し光学系 4 0 A 及びこの引回し光学系 4 0 A で伝播された光を照射する光照射系 4 0 B を備

えている。

【 0 0 7 2 】

この実施形態では、ウェハーステージ 4 7 側に、円形開口等の第 1 の観測パターン 4 1 と第 2 の観測（走査）パターン 4 5 を配置した構成となっている。また、反射手段 4 9 は、マスク 4 1 A 近辺に曲率中心を有し、投影光学系 4 4 の光軸に対して偏心して配置されている。

【 0 0 7 3 】

引回し光学系 4 0 A は、補助照明系 4 3 からウェハ側面に光を引回すためのものであり、光ファイバーなどの光伝播手段を使用している。

【 0 0 7 4 】

また、光照射系 4 0 B には、円形開口等の第 1 の観測パターン 4 1 を有しており、引回し光学系 4 0 A で引回してきた光を投影光学系 4 4 に照射するようになっている。

【 0 0 7 5 】

従って、この実施形態によれば、投影光学系 4 4 を透過してきた光は、反射手段 4 9 にて反射する。そして、この反射手段 4 9 で反射した後に、再び投影光学系 4 4 を透過してきた光は、投影光学系 4 4 の光軸に垂直で、第 1 の観測パターン 4 1 と同じ平面内に結像する。結像した光は第 2 の観測パターン 4 5 にて走査され、光強度分布測定装置 4 6 にて、光強度分布が測定される。そして、第 2 の観測パターン 4 5 の位置と光強度分布とを信号処理装置 4 6 A で処理することで、投影光学系 4 4 の収差が測定される。

【 0 0 7 6 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、レチクルやフォトマスクなどの被転写材若しくは別に設けた被転写材に第 1 の観測パターンを設け、この第 1 の観測パターンを補助照明系で照明し、投影光学系を透過してきた光束の結像位置近傍に第 2 の観測パターンを配置し、第 2 の観測パターンを投影光学系の光軸と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査し、第 2 の観測パターンを通過した後の光束によって形成される光強度分布により、第 2 の観測パターンの走査と同期して得られ



る光強度分布の変化から、投影光学系の結像性能を測定するようになっている。

【 0 0 7 7 】

従って、本発明によれば、例えば実際に使用する状態での投影光学系の波面収差等を測定することができるようになり、実際の使用状態に則した、より精密なレンズの調整や、収差の影響を受けにくい半導体素子の設計等が可能となるから、実用上大きな効果が得られるものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

光学系での収差を示す説明図である。

【図 2】

この発明の原理を示す説明図である。

【図 3】

この発明に係る光強度分布を示す説明図である。

【図 4】

この発明に係る第 2 の観測パターンを示す説明図である。

【図 5】

この発明に係る光線収差と光強度のずれとの関係を示すものであり、(A) は  $u$  軸に対するプロット図、(B) は  $v$  軸に対するプロット図である。

【図 6】

この発明に係る第 1 の観測パターンを用いた場合の結像点近傍の光束の様子を示す光路図である。

【図 7】

この発明に係る第 1 の観測パターンを示す説明図である。

【図 8】

この発明に係る光線収差と光強度のずれとの関係を示すものであり、(A) は  $u$  軸に対するプロット図、(B) は  $v$  軸に対するプロット図である。

【図 9】

この発明の第 1 の実施形態に係る投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 1 0】

第 1 の実施形態に係る投影露光装置の要部拡大図である。

【図 1 1】

この発明の第 2 の実施形態に係る投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 1 2】

第 2 の実施形態に係る投影露光装置の要部拡大図である。

【図 1 3】

スリットを有するパターンの走査に伴う光強度分布を示すものであり、（A）は主光線の光強度、（B）はスリット位置の光強度、をそれぞれ示すグラフである。

【図 1 4】

この発明の第 3 の実施形態に係る投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 1 5】

第 3 の実施形態に係る投影露光装置の要部拡大図である。

【図 1 6】

この発明の第 4 の実施形態に係る投影露光装置を示す概略構成図である。

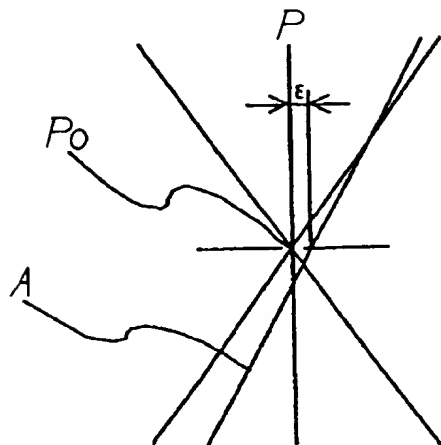
【符号の説明】

- 1 投影露光装置
- 1 1 第 1 の観測パターン
- 1 2 マスク
- 1 3 補助照明系
- 1 4 投影光学系
- 1 5 第 2 の観測パターン
- 1 5 A アクチュエータ
- 1 5 B 制御装置
- 1 6 光強度分布測定装置
- 1 6 A 信号処理装置
- 1 7 ウエハーステージ
- 1 7 A ウエハーチャック
- 1 7 B 駆動装置

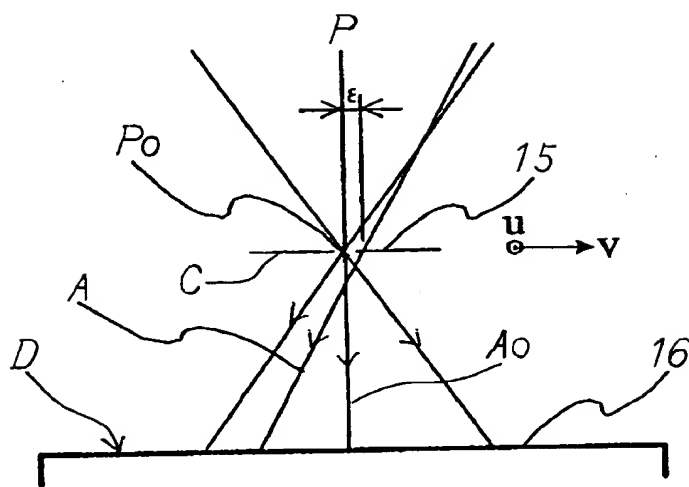
2 1	第 1 の観測パターン
2 2	マスク
2 3	補助照明系
2 4	投影光学系
2 5	第 2 の観測パターン
2 5 A	アクチュエータ
2 5 B	アクチュエータ制御装置
2 6	光強度分布測定装置
2 6 A	信号処理装置
2 6 B	瞳結像光学系
2 6 C	固体撮像素子
2 7	ウェハーステージ
2 8	折曲手段
2 9	反射手段
3 6	光強度分布測定装置
4 0 A	引回し光学系
4 0 B	光照射系
A o	主光線
A	光線
D	光強度測定面
I a	光強度（光線 A 対応）
I o	光強度（主光線 A o 対応）
N A i	（ウェハー側）開口数
N A o	（レチクル側）開口数
P o	理想結像位置
$\varepsilon$	光線収差量
$\eta$	光線収差量
$\phi$	波面収差

【書類名】図面

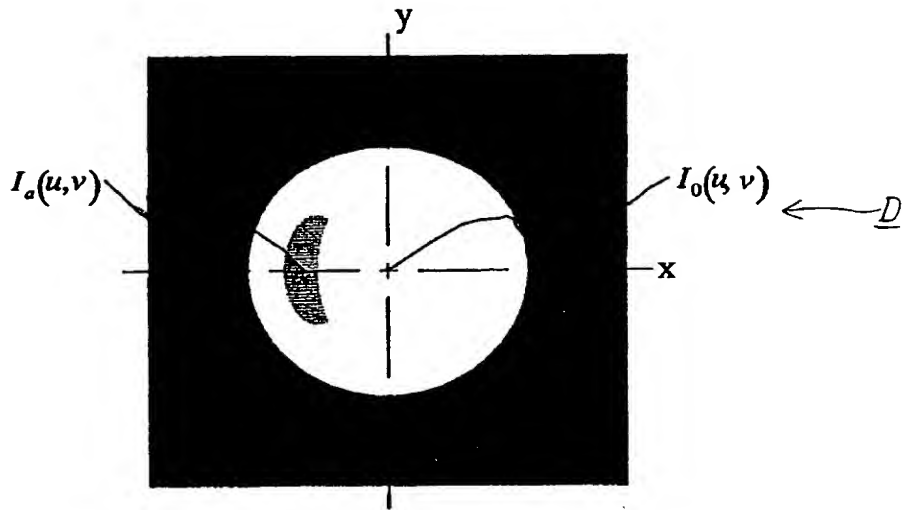
【図 1】



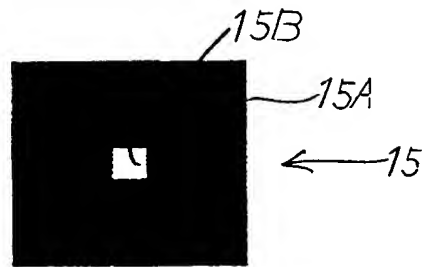
【図 2】



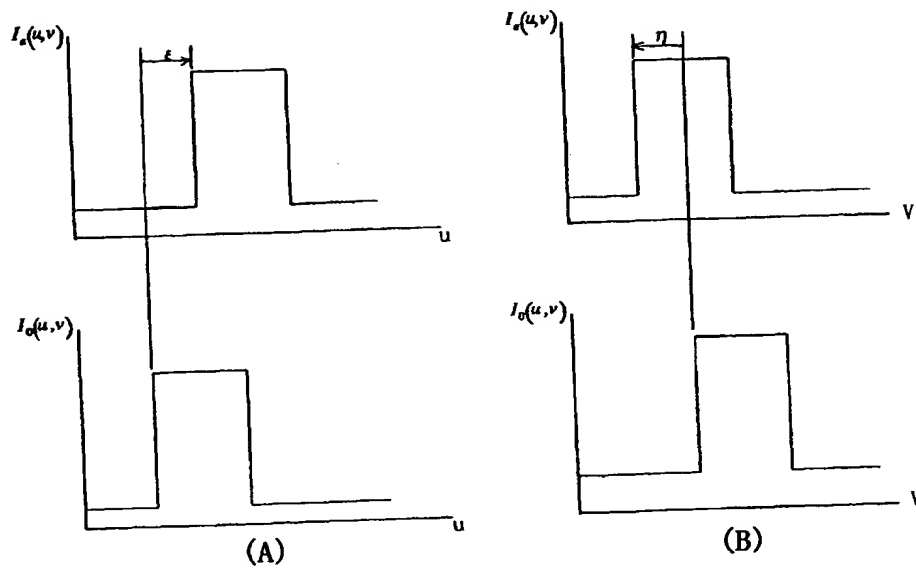
【図 3】



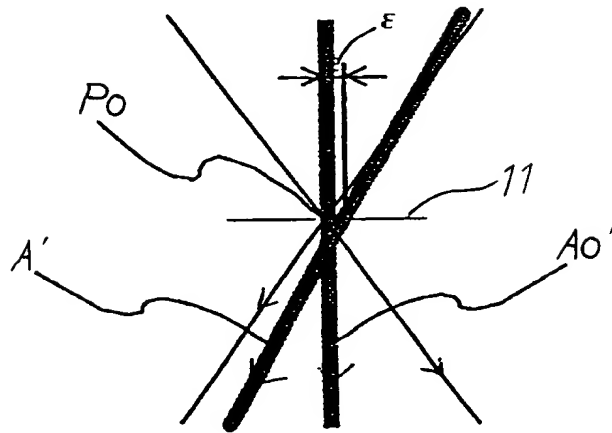
【図 4】



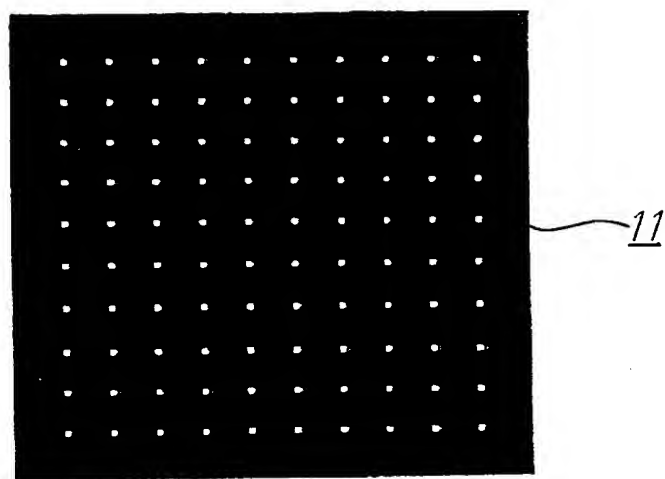
【図 5】



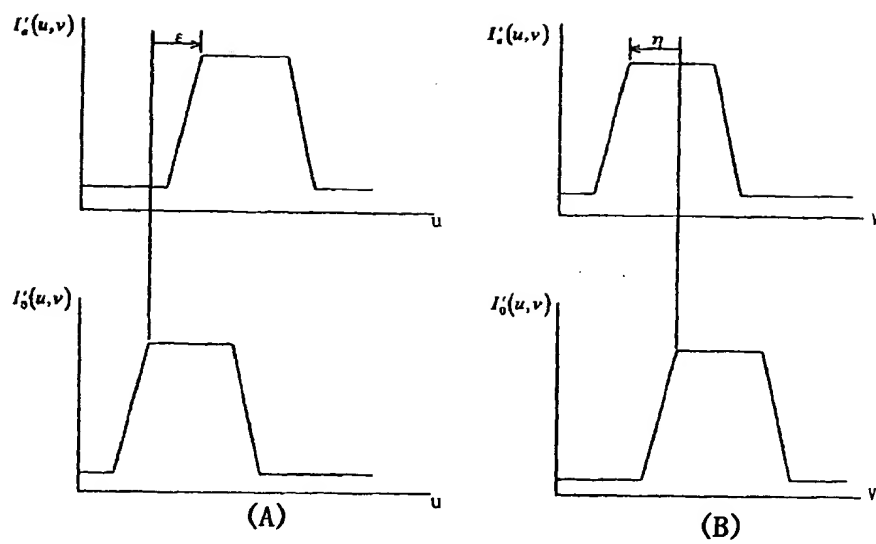
【図 6】



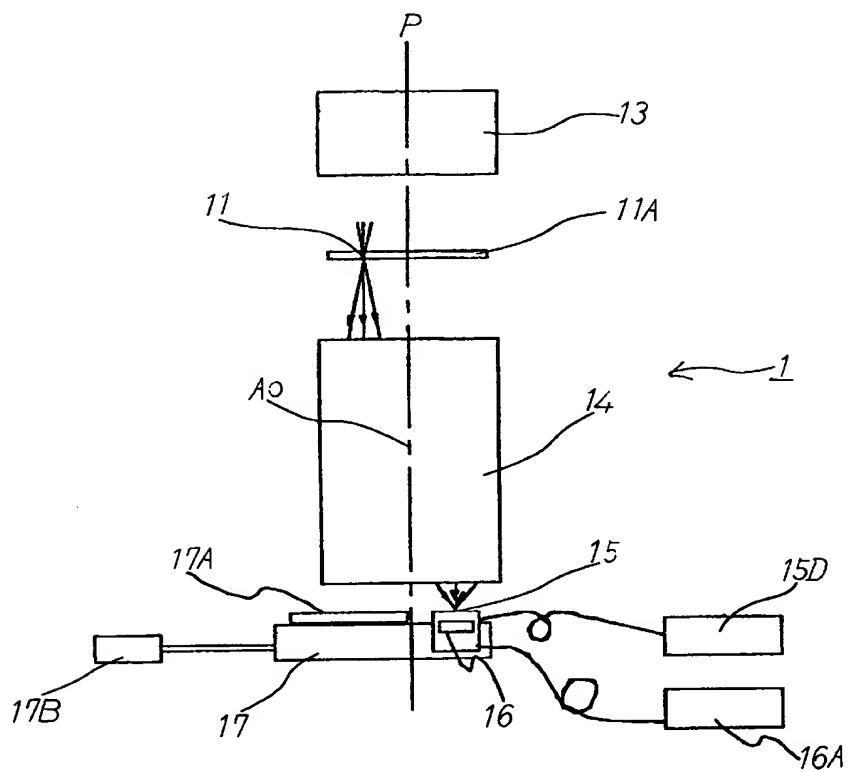
【図 7】



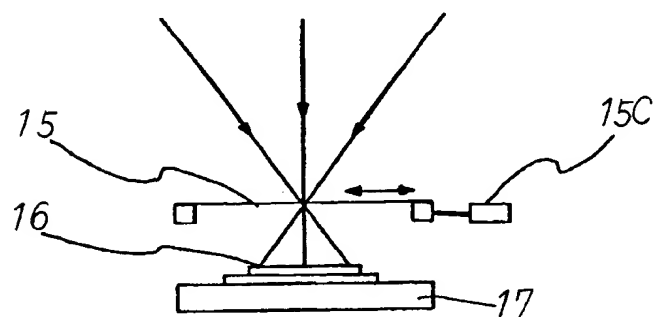
【図 8】



【図 9】

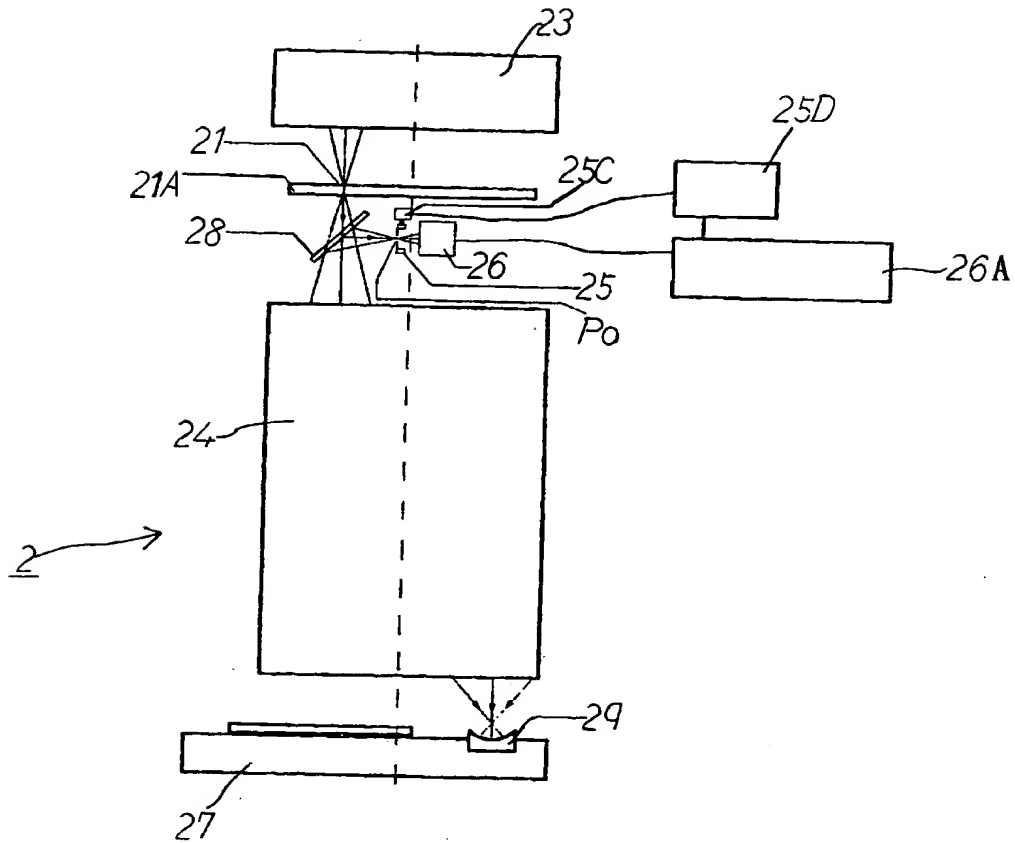


【図 10】

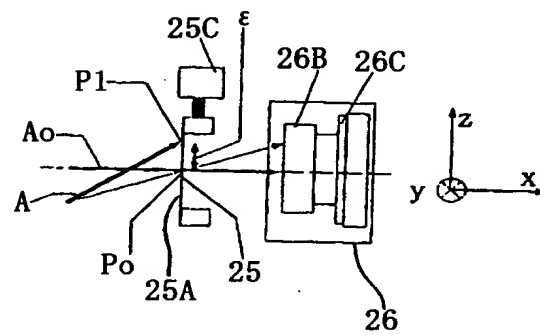




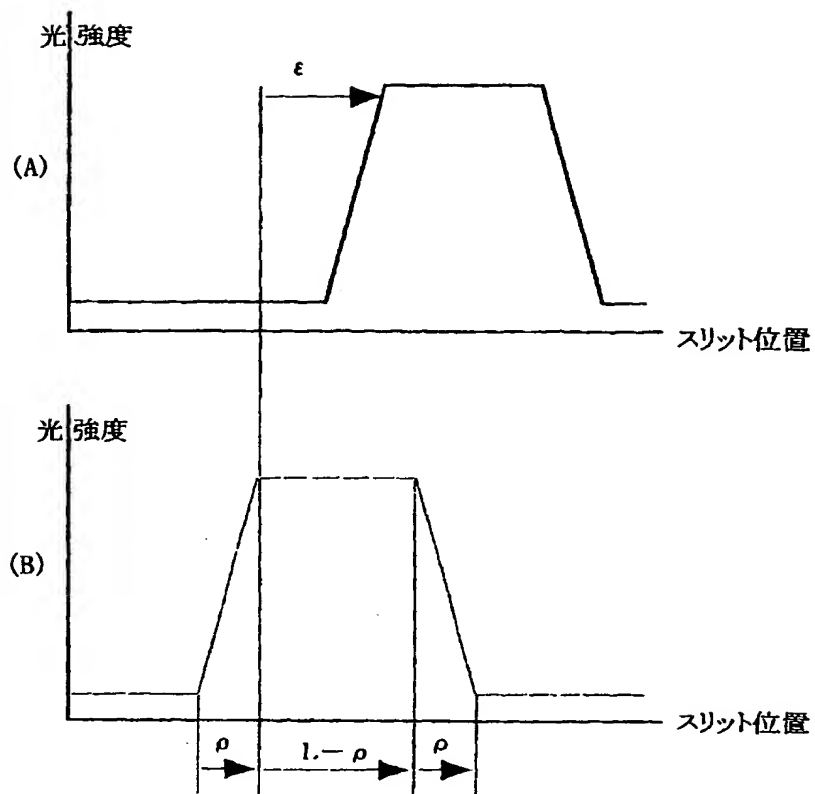
【圖 1 1】



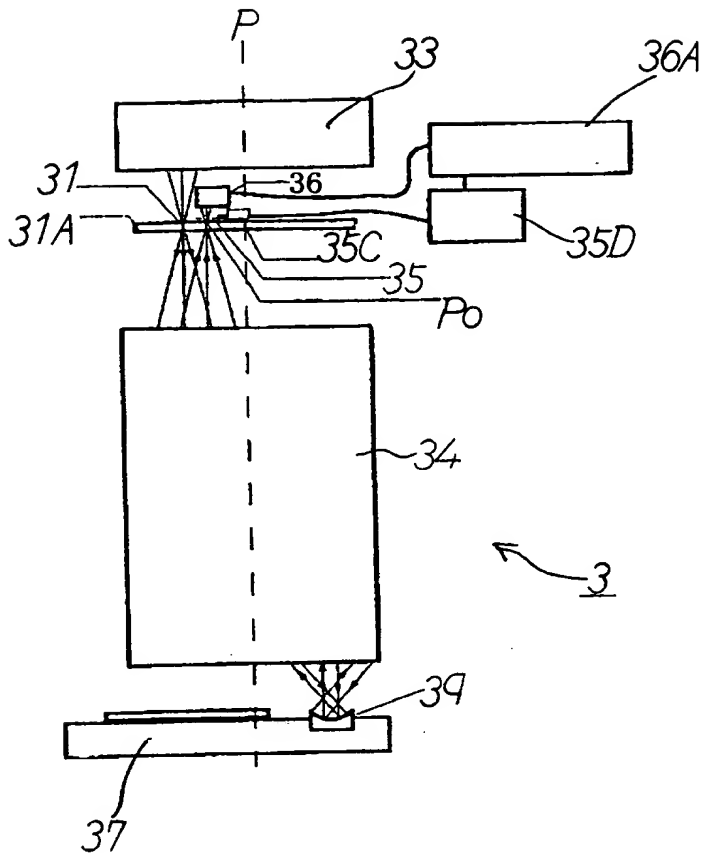
【図 12】



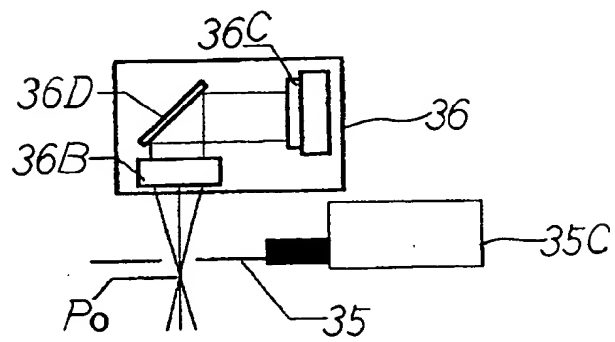
【図 1 3】



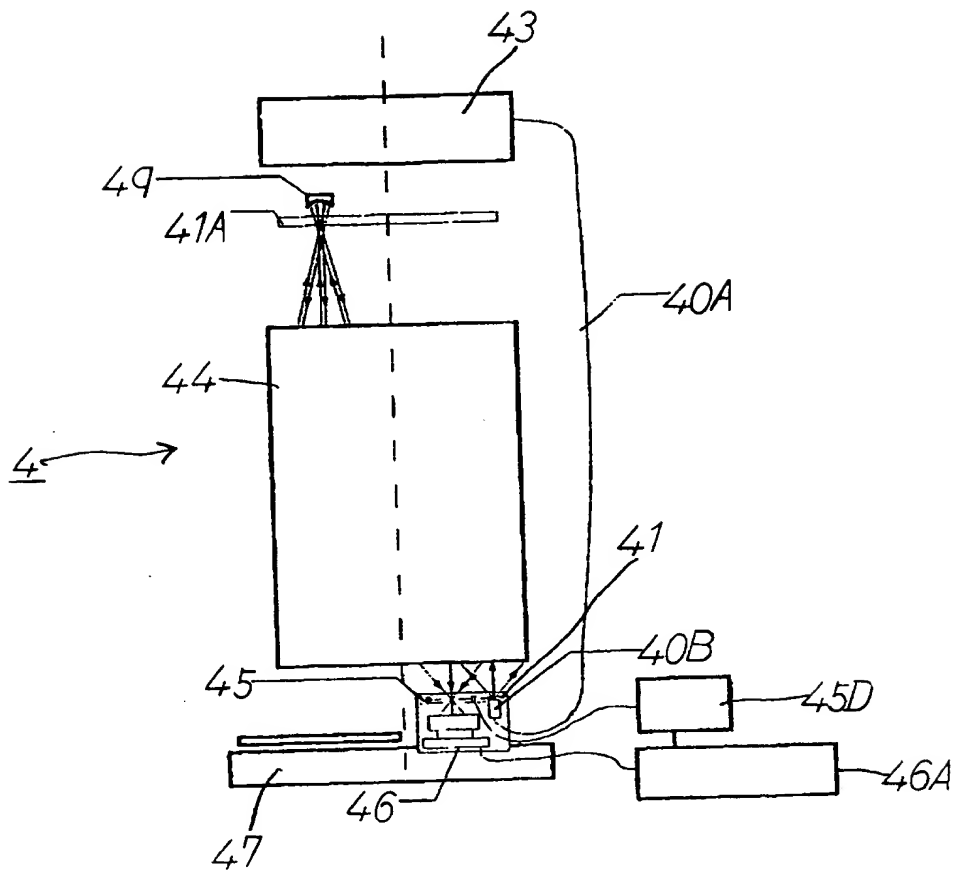
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 投影露光装置上で投影光学系の結像性能、特に波面収差を計測する機能を備えた投影露光装置を提供する。

【解決手段】 マスク 1 2 に設けた第 1 の観測パターン 1 1 を補助照明系 1 3 で照明し、投影光学系 1 4 を透過してきた光束の結像位置近傍に第 2 の観測パターン 1 5 を配置し、第 2 の観測パターン 1 5 を投影光学系 1 4 の光軸 P と垂直な 1 方向あるいは複数の方向に走査し、第 2 の観測パターン 1 5 を通過した後の光束によって形成される光強度分布により、第 2 の観測パターン 1 5 の走査と同期して得られる光強度分布の変化から、投影光学系 1 4 の結像性能を測定する。

【選択図】 図 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
氏 名 キヤノン株式会社